

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕЙСМОСТОЙКИХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ДЛЯ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ УКРАИНЫ

Оглобля А.И., Кравчук И.Н., Раздайбеда С.Л.

Украинский государственный научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт «УкрНИИводоканалпроект»
г. Киев, Украина

АНОТАЦІЯ: На прикладі хвостосховища Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату розглядаються особливості розрахунку і проектування огорожувальних споруд з урахуванням сейсмічних впливів.

АННОТАЦИЯ: На примере хвостохранилища Ингулецкого горно-обогательного комбината рассматриваются особенности расчета и проектирования ограждающих сооружений с учетом сейсмических воздействий.

ABSTRACT: The features of the calculation and design of enclosing structures considering seismic effects by example of Ingulets iron ore enrichment works.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: хвостохранилище, ограждающие сооружения, сейсмические воздействия.

При разработке полезных ископаемых, обогащении и гидрометаллургической переработке руд и концентратов, неотъемлемой частью рудо-перерабатывающего производства промышленных предприятий являются хвостовые хозяйства, созданные для решения вопросов транспортировки и организованного складирования минеральных отходов этих предприятий. Проектирование и реконструкция объектов хвостового хозяйства горно-обогачительных комбинатов Украины является основным направлением деятельности ГИ «УкрНИИводоканалпроект» как главной организации - генерального проектировщика указанных объектов. Среди запроектированных объектов – хвостовые хозяйства горно-обогачительных комбинатов

Украины, таких как Полтавский, Еристовский, Северный, Ингулецкий, Центральный, Южный, АрселорМиттал Кривой Рог, Восточный, Николаевский глиноземный завод, а также другие предприятия Украины и стран СНГ.

ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ХВОСТОХРАНИЛИЩ

Основным сооружением хвостового хозяйства (рис. 1) является

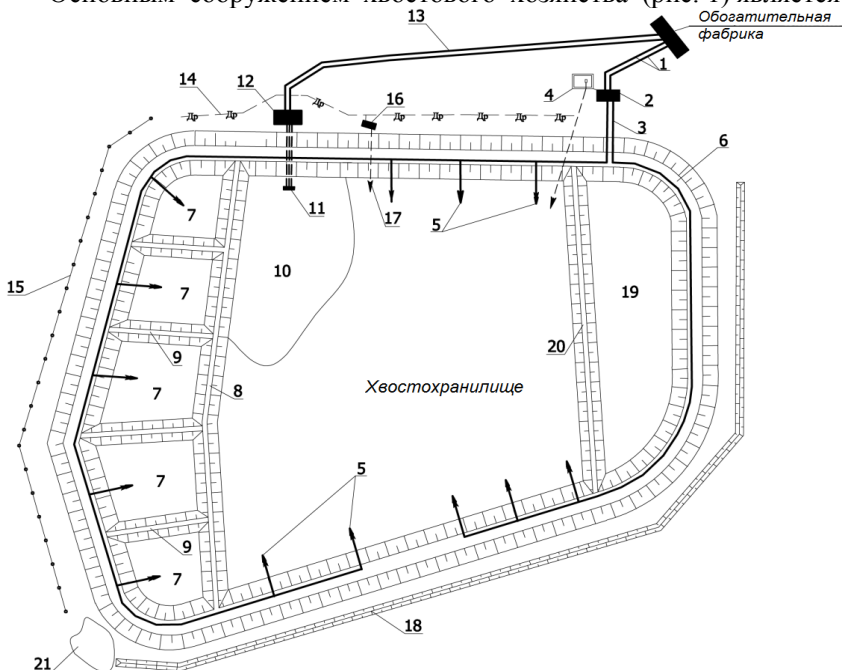


Рис. 1. Схема хвостового хозяйства горно-обогатительного комбината:
 1 - самотечная подача пульпы; 2 - пульпонасосная станция; 3 - магистральные пульпопроводы; 4 - аварийная емкость; 5 - распределительные пульпопроводы с выпусками; 6 - дамба обвалования; 7 - карта намыва; 8 - внутренняя дамба; 9 - разделительная дамба; 10 - отстойный прудок; 11 - водозаборное сооружение; 12 - насосная станция оборотной воды; 13 - трубопроводы оборотной воды; 14 - дренаж; 15 - противофильтрационная завеса; 16 - дренажная насосная станция; 17 - напорная подача дренажной воды; 18 - нагорная канава; 19 - отсек повторного использования хвостов; 20 - отсечная дамба; 21 - аккумулирующая емкость поверхностных и дренажных вод

хвостохранилище – естественно или искусственно созданная емкость для складирования хвостов, которые перемещают из мест их образования преимущественно гидравлическим способом. Различают хвостохранилища наливные, которые не имеют искусственных подпорных сооружений, и намывные, подпорные сооружения которых, частично или полностью, сооружаются из хвостов в процессе их гидравлического складирования [1].

Хвостохранилища чаще всего строятся на землях с развитой балочно-овражной сетью, малопригодных для сельскохозяйственного использования. Емкость хвостохранилища по контуру ограничивается ограждающими сооружениями (плотинами) комбинированного типа (рис. 2), состоящими из первичных дамб обвалования из суглинистого грунта, дамб наращивания и разделительных дамб из каменной наброски (часто используется вскрыша рудных карьеров или бедные руды). Эти дамбы образуют систему карт, замываемых хвостами. Поверхность замытых карт после соответствующего периода отстаивания является основанием для устройства карт следующего яруса.

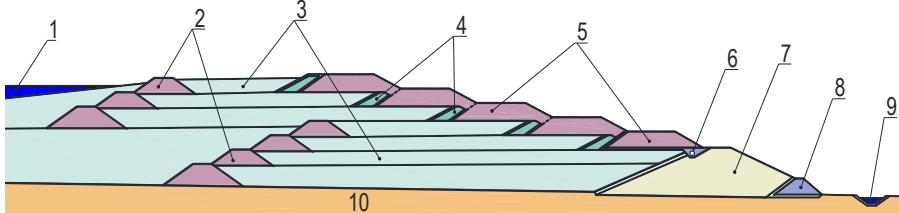


Рис. 2. Характерный поперечный разрез ограждающей дамбы хвостохранилища: 1 – отстойный пруд; 2 - внутренняя дамба; 3 – карта намыва; 4 - противофильтрационный экран; 5 - дамба обвалования; 6 - трубчатый дренаж с обратным фильтром; 7 - первичная дамба; 8 - дренажная призма с обратным фильтром; 9 - нагорная канава; 10 - основание

Специфика таких объектов заключается в том, что проектирование и строительство ограждающих сооружений (дамб и плотин) производится не сразу на полную высоту, а поэтапно, по мере заполнения емкости хвостохранилищ отходами обогащения рудных ископаемых. На сегодня высота ряда плотин хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов Украины превысила 100-метровую отметку и продолжает расти. Многолетний опыт проектирования и авторского сопровождения строительства хвостохранилищ был обобщен и использован ГИ «УкрНИИводоканалпроект» при разработке ДБН В.2.4-5:2012 «Хвостосховища і шламонакопичувачі. Част. I. Проектування. Частина II. Будівництво» [1].

УЧЕТ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В соответствии с действующими нормативными документами [1-5] для ограждающих дамб хвостохранилищ необходимо выполнять следующие расчеты:

- фильтрационные с определением положения депрессионной поверхности, фильтрационных расходов, напоров или градиентов напоров;
- устойчивости откосов по круглоцилиндрическим и произвольным поверхностям скольжения с учетом напряженного состояния и порового давления при переменных прочностных характеристиках грунтов;
- устойчивости откосов, фильтрационной прочности водоупорных элементов с учетом напряженно-деформированного состояния тела и основания дамбы, используя нелинейные модели грунтов;
- осадки дамбы и ее основания.

Горизонтальные смещения дамбы определяют путем расчета напряженно-деформированного состояния с учетом последовательности и скорости возведения сооружения.

В 2006 г. был введен в действие нормативный документ [2], в соответствии с которым сейсмические воздействия необходимо учитывать, начиная с 6-ти баллов (раньше было с 7-ми) и гидротехнические водоподпорные сооружения 1-го и 2-го классов следует рассчитывать прямым динамическим методом с использованием акселерограмм. При этом следует отметить, что в Украине отсутствовали программные средства для выполнения данных расчетов.

Для возможности выполнения вышеуказанных расчетов ГИ «УкраНИИводоканалпроект» были рассмотрены три зарубежных программных комплекса (ПК): PLAXIS (Голландия), MIDAS (Южная Корея), GEO STUDIO (Канада). По результатам сравнения, в первую очередь, на соответствие действующим нормам Украины и функциональным возможностям, был выбран программный комплекс GEO STUDIO (Канада).

ПК GEO STUDIO состоит из пяти модулей, позволяющих выполнять расчеты: SEEP/W – фильтрации; SLOPE/W – устойчивости; SIGMA/W – напряженно-деформированного состояния; QAKE/W – с учетом сеймики; CTRAN/W – переноса загрязнений (экологическое моделирование).

ПК GEO STUDIO имеет современный интерфейс пользователя и позволяет выполнять для ограждающих дамб все необходимые расчеты, регламентированные нормативными документами [1-5].

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ ХВОСТОХРАНИЛИЩА ПАО «ИНГУЛЕЦКИЙ ГОК»

В 2013 г. ГИ «УкрНИИводоканалпроект» выполнена научно-исследовательская работа по определению предельной отметки наращивания ограждающих сооружений хвостохранилища Ингулецкого ГОКа в зависимости от механической и фильтрационной прочности грунтов основания. В результате инженерно-геологических изысканий [6, 7] и лабораторных испытаний, выполненных в сертифицированной лаборатории ГИ «УкрНИИводоканалпроект» с привлечением специализированных организаций, определены физико-математические характеристики грунтов, включающие прочностные, деформационные, фильтрационные и динамические свойства, а также гранулометрический и минеральный состав. Это относится как к грунтам, слагающим тело плотины, так и к грунтам основания.

Особенности инженерно-геологических условий. Хвостохранилище Ингулецкого ГОКа расположено на правом берегу р. Ингулец и занимает участки поймы и прилегающих с севера надпойменных террас. Склоны террас были изрезаны небольшими безымянными балками. При строительстве хвостохранилища в мае 1965 г. юго-западнее с. Николаевка русло реки на протяжении более 1 км было спрямлено в двух местах, расширено и перегорожено переливной плотиной. Старое русло в чаше хвостохранилища было перекрыто слоем насыпных грунтов, а после заполнения хвостохранилища — намывными хвостами. Первичная дамба обвалования в юго-восточной части территории проходит вдоль спрямленного русла р. Ингулец с отметками 23-25 м, поднимаясь к водоразделу, где отметки достигают 90 м.

В структурно-тектоническом отношении территория г.Кривой Рог расположена в пределах среднечереповецкого склона Украинского кристаллического массива (УКМ), к которому приурочен Криворожско-Кременчугский синклиний. В геологическом строении описываемого района принимают участие кристаллические породы докембрия и покрывающий их комплекс осадочных пород.

Специфической особенностью района является наличие крупных по мощности кор выветривания кристаллических пород. Представлены они каолинами, глинами голубовато-серыми, дресвой и щебнем. Среди пород палеогена выделяют осадки бучакской, киевской и харьковской свит, которые представлены песчано-глинистыми отложениями. Неогеновые отложения представлены переслаиванием глин, песков и известняков сарматского, мзотического, понтического и куальницкого ярусов. Известняки отличаются неоднородностью сложения – наряду с зонами достаточно

прочного сложения встречаются сильновыветрелые разности, представляющие собой супесчано-гравелистую массу.

Горизонт красно-бурых (скифских) глин ($N_2 - Q_1$) встречен в пределах 2 и 3 надпойменных террас р. Ингулец. Почти повсеместно глины перекрыты слоем красно-бурых, бурых суглинков элювиально-делювиального генезиса эоплейстоценового возраста (Q_1). Четвертичные отложения также представлены лессовидными образованиями, аллювиально-делювиальными и пролювиальными отложениями балок, аллювием р. Ингулец и техногенными грунтами. Общая мощность четвертичных пород природного генезиса колеблется от 1...2 до 15 м.

Техногенные грунты согласно ДСТУ Б В.2.1-2-96 относятся к подгруппам природных перемещенных (насыпные, слагающие тело дамб) и антропогенных образований (намывные, заполняющие чашу хвостохранилища).

Намывные грунты литологически представлены песчаными, супесчаными и суглинистыми шламами. Для них характерна бурая, темно-серая, местами фиолетово-красная окраска и высокие значения плотности частиц грунта $\sim 3,00 \text{ г/см}^3$, что обусловлено повышенным содержанием тяжелых элементов (Fe, Mn). Четкой закономерности их залегания как по глубине, так и по простирацию не наблюдается, и границы фациальных переходов достаточно условны.

Техногенные насыпные грунты слагают пионерную плотину хвостохранилища вдоль спрямленного русла р. Ингулец и поярусные дамбы обвалования. Пионерная плотина сложена суглинками и красно-бурыми глинами, дамбы обвалования - глыбами и щебнем кварцитов с супесчаным и песчаным наполнителем из хвостового материала.

Максимальная мощность техногенных отложений достигает 121 м. Площадь основного хвостохранилища – 750 га. Т.е. сооружения хвостового хозяйства могут рассматриваться как техногенное геологическое тело со специфическим строением, своеобразной слоистой структурой и формированием грунтового массива в особых инженерно-геологических и гидрогеологических условиях.

Физико-механические свойства насыпных грунтов изменяются вследствие как естественных, в основном сезонно-климатических, так и техногенных факторов – происходит их уплотнение от собственного веса, укатки берм, дополнительной пригрузки при укреплении откосов. Намывные грунты консолидируются вследствие постоянного увеличения мощности вышезалегающей толщи, а на участках картового намыва с последующим устройством берм они уплотняются под нагрузкой от возводимых сооружений (дамб, дорог, пульпопроводов).

При определении физико-механических свойств грунтов для красно-бурых и сарматских глин, углистых отложений бучакского яруса и каоли-

нов коры выветривания были выполнены исследования по методу трехосного сжатия на приборе TriSCAN 50 (стабилометре) производства VJTech. При этом были определены: модуль деформации, коэффициент Пуассона, коэффициент уплотнения, коэффициент порового давления, коэффициент фильтрационной консолидации, прочностные характеристики (сцепление и угол внутреннего трения) при нагрузках до 1 МПа.

Гидрогеологические условия участка характеризуются наличием четырех водоносных горизонтов.

Грунтовые воды приурочены к техногенным намывным грунтам, а в нижнем бьефе дамбы обвалования - к аллювиальным и лессовидным отложениям. Для перехвата грунтовых вод и формирования депрессионной кривой на берегах и в нижнем бьефе сооружены дренажные системы, которые обеспечивают отвод грунтовых вод в пруд осветленной воды хвостохранилищ. Режим этого водоносного горизонта в чаше хвостохранилища связан с графиком намыва карт.

Второй водоносный горизонт приурочен к понтическим известнякам. Поскольку известняки имели выходы на дневную поверхность на надпойменных террасах р. Ингулец и в балках, занятых впоследствии хвостохранилищем, существует безусловная связь данного горизонта с техногенными водами.

Водовмещающими породами для третьего от поверхности водоносного горизонта являются сарматские отложения — известняки и пески. Региональным водопором служат глины киевского яруса палеогена. Горизонт обладает напором до 8 м.

Водопором для водоносного горизонта, приуроченного к пескам киевской свиты палеогена, служат киевские глины либо каолины коры выветривания. Горизонт напорный.

Сейсмическое микрорайонирование. Сейсмическая опасность изучаемой территории определяется сильными подкоровыми землетрясениями очаговой зоны Вранча, расположенной в зоне сочленения Восточных и Южных Карпат с Предкарпатским прогибом, а также «местными» землетрясениями, происходящими в непосредственной близости от исследуемой территории и связанными с тектоническими нарушениями Украинского щита.

В соответствии с картой ОСР-2004-С сейсмическая интенсивность строительных площадок ответственных сооружений в г. Кривой Рог составляет 7 баллов по шкале MSK-64.

По результатам изучения инженерно-геологических условий и выполненного микросейсморайонирования, было установлено, что территория размещения хвостохранилищ ИнГОКа относится к одной сейсмической зоне с приращением сейсмической интенсивности 0 баллов относительно исходной сейсмичности.

Для ограждающих дамб и чаши хвостохранилищ 1-й и 2-й очереди приращение сейсмической интенсивности составляет +1 балл.

Таким образом, прогнозные значения сейсмичности при МРЗ для исследуемой территории составляют 8 баллов.

Динамические характеристики грунтов с учетом прогнозной сейсмичности были исследованы лабораторными и геофизическими методами. В результате лабораторных исследований установлено, что все разновидности грунтов, соответствующие пескам мелким, пескам пылеватым, суглинкам и супесям, динамически устойчивы в заданном диапазоне ускорений $a=120\dots180 \text{ см/с}^2$. Наиболее склонны к разжижению пески пылеватые, однако они переходят в разжиженное состояние при ускорениях порядка $0,7g$.

Результаты, полученные при проведении виброкомпрессионных испытаний, показали, что влияние интенсивности динамических воздействий на характеристики исследуемых грунтов должны проявиться, в основном, для супесей.

Исследованиями, выполненными ООО «Фундаментстроймакс» [7], были изучены возможности использования геофизических критериев для прогноза разжижения намывных грунтов при сейсмических воздействиях. В ходе выполнения исследований были проанализированы результаты зарубежного опыта, проведены полевые сейсморазведочные работы в модификации корреляционного метода преломленных волн в юго-восточной части хвостохранилища ПАО «ИнГОК», построена цифровая скоростная модель техногенной толщи для продольных и поперечных волн до глубины 20 м, выполнен сбор и анализ ретроспективных данных скважинных сейсморазведочных работ на хвостохранилище ПАО «ИнГОК», построены цифровые скоростные модели по скважинным данным, разработана вычислительная программа для расчета геофизических критериев прогноза разжижения техногенных грунтов.

В результате выполненных расчетов было определено, что для уровня проектного землетрясения (ПЗ – 6 баллов по шкале МСК-64, горизонтальные пиковые ускорения $0,05 g$) явление сейсмического разжижения намывных грунтов в чаше хвостохранилища ПАО «ИнГОК» наблюдаться не будет, а для уровня максимального расчетного землетрясения (МРЗ – 8 баллов по шкале МСК-64, горизонтальные пиковые ускорения $0,2 g$) оно возможно для отдельных интервалов и линз в верхней части толщи намывных грунтов.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТОВ

Для определения значения коэффициента запаса устойчивости ограждающих сооружений, были выбраны характерные (по конструкции и месту положения) участки, на которых по 7-ми створам, при наращивании до отметок 165,00 м и 182,50 м, были проведены соответствующие расчеты с использованием программного комплекса GEO STUDIO. В качестве исходных данных использованы: проектные сечения ограждающих дамб, таблицы физико-механических характеристик грунтов при статических [6] и динамических [7] испытаниях, а также наборы расчетных акселерограмм близких и дальних землетрясений для площадок сейсмической интенсивностью 6, 7 и 8 баллов в формате текстовых файлов [8].

Для каждого из 7-ми створов при двух отметках наращивания 165,0 и 182,5 м были выполнены:

- расчет фильтрации, с определением положения кривой депрессии, гидравлических напоров, порового давления и удельных расходов в различных сечениях;
- расчет начального (до сейсмического воздействия) напряженного состояния, с определением полных и эффективных напряжений в теле и основании плотины;
- расчет напряженно-деформированного состояния при сейсмическом воздействии 8 баллов, с определением полных и эффективных напряжений, порового давления (полного и избыточного), перемещений и деформаций;
- расчет устойчивости по методу Моргенштерна-Прайса с учетом и без учета сеймики по круглоцилиндрическим и произвольным (по терминологии ПК «оптимизированным») поверхностям скольжения с определением минимального коэффициента запаса устойчивости.

В соответствии с [2], табл. 5.1, для водоподпорных сооружений класса ответственности СС3 расчеты выполнены по прямому динамическому методу с моделированием сейсмического воздействия при помощи набора акселерограмм.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

На рис. 3 - 5 показаны результаты расчетов для сечения 2-2 при наращивании плотины до отм. 165,00 м. Расчеты динамической устойчивости хвостов были выполнены для всех расчетных створов и отметок наращивания.

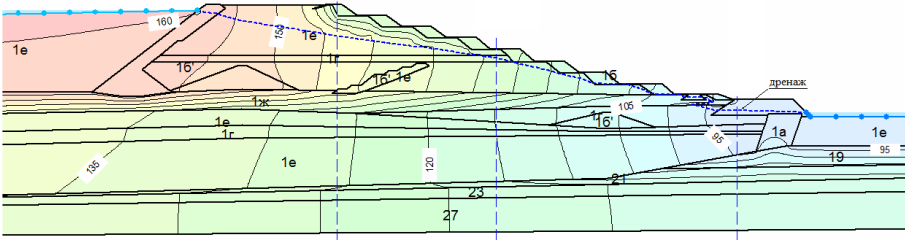


Рис. 3. Сечение 2-2 на ПК 28+00. Фильтрационный расчет.
Кривая депрессии, линии равных напоров

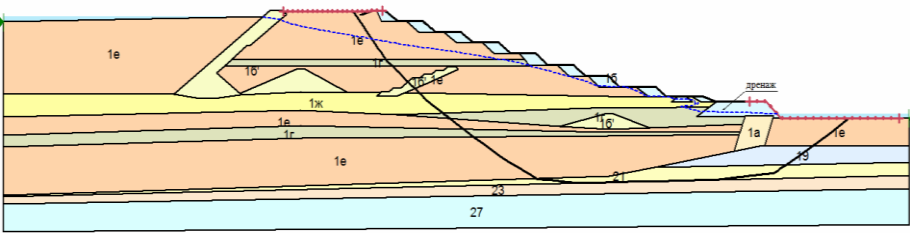


Рис. 4. Сечение 2-2 на ПК 28+00. Расчет устойчивости. Коэффициент устойчивости без учета сейсмики $k_s = 1,435$

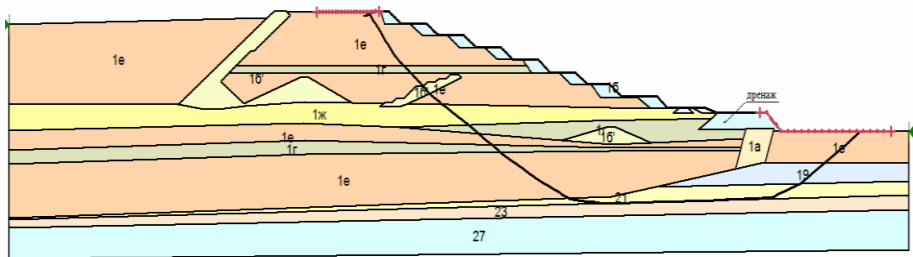


Рис. 5. Сечение 2-2 на ПК 28+00. Расчет устойчивости. Коэффициент устойчивости с учетом сейсмики $k_s = 1,399$

Ввиду наличия общих закономерностей для всех указанных створов приводятся результаты только для сечения 2-2 на ПК 28+00, как наиболее характерного, и отметки наращивания 165,0 м.

На рис. 6 и 7 показаны результаты расчета устойчивости намывной части плотины для кривых скольжения, проходящих на глубине 10-15 м через область избыточного порового давления до и после землетрясения.

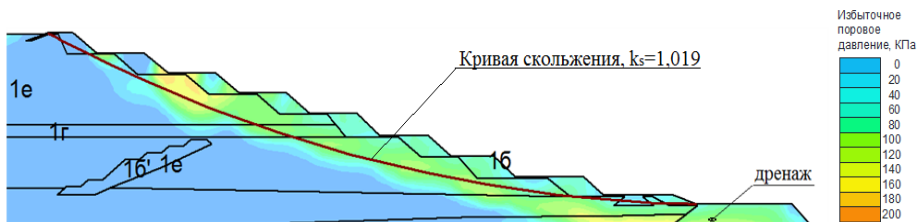


Рис. 6. Сечение 2-2 на ПК 28+00, отм. 165,00 м. Устойчивость намывной части плотины при сейсмическом воздействии, $k_s=1,019$

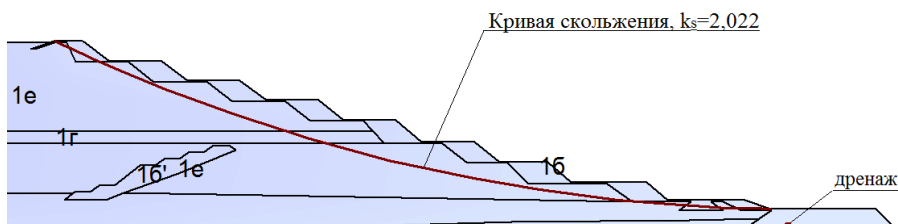


Рис. 7. Сечение 2-2 на ПК 28+00, отм. 165,00 м. Устойчивость намывной части плотины до сейсмического воздействия, $k_s=2,022$

Внимание к этой зоне объясняется тем, что в результате расчетов напряженно-деформированного состояния с использованием акселерограмм, были выявлены зоны образования избыточного порового давления, величиной до 200 КПа ($2,0 \text{ кг/см}^2$). Сравнение результатов показывает, что при наращивании до отм. 165,0 м снижение устойчивости равно $2,022:1,019=2,0$ раз. Механизм влияния порового давления на прочность хвостов можно понять, сравнивая полные и эффективные напряжения в точке на кривой скольжения до и после сейсмического воздействия (рис. 8).

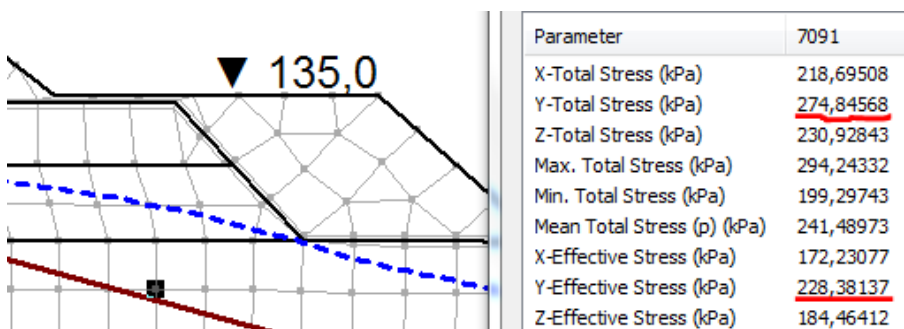
Из рис. 8 видно, что полные вертикальные напряжения в результате сейсмического воздействия остались неизменными (274,845 КПа), а эффективные напряжения стали меньше на величину избыточного порового давления $228,381-83,416 = 145,965$ КПа.

Таким образом, с учетом удельного сцепления равного для хвостов 10 КПа, прочность грунта в рассматриваемой точке снизится в $(228,4+10) / (83,4+10) = 2,5$ раза. Ввиду прямой зависимости между прочностью и устойчивостью, такое же снижение следует ожидать и для коэффициента устойчивости грунта в точке. Как показано выше для кривой скольжения в целом, коэффициент устойчивости уменьшился в 2 раза. Механизм этого явления можно объяснить следующим образом: в соответствии с принятой моделью, при циклических колебаниях частиц грунта происходит его

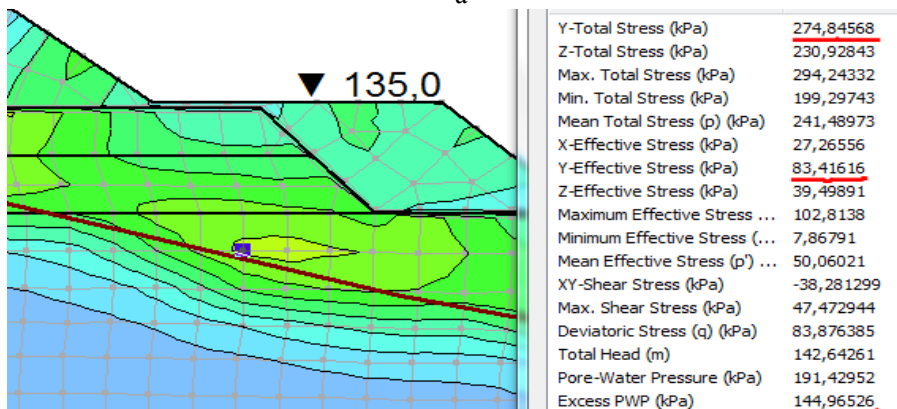
уплотнение с передачей части давления на поровую воду. Поровое давление увеличивается на величину избыточного порового давления (величину превышения порового давления над гидростатическим). На эту же величину уменьшаются эффективные напряжения в грунте. Из формулы Мора-Кулона видно, что прочность грунта напрямую зависит от величины эффективных напряжений:

$$\tau = \sigma' \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (1)$$

где $\sigma' = \sigma - u$ – эффективные вертикальные напряжения;
 σ – полные вертикальные напряжения;
 u – поровое давление.



а



б

Рис. 8. Полные и эффективные напряжения в точке прохождения кривой скольжения: а - до сейсмического воздействия;
 б - после сейсмического воздействия

Из приведенной формулы (1) также видно, что при равенстве величин порового давления и полного напряжения (или избыточного порового давления и эффективного напряжения до землетрясения), величина эффективных напряжений становится равной нулю, а прочность – равной удельному сцеплению. Это состояние называется динамическим разжижением грунта. В нашем случае эффективное напряжение в точке снижается на 63 % (от 228 КПа до 83 КПа). Такое явление носит название виброползучести.

Неизменность величины полного напряжения в точке (274,845 КПа) до и после землетрясения (рис. 9) говорит о том, что в используемой методике основным фактором, влияющим на устойчивость сооружения в результате сейсмического воздействия, есть избыточное поровое давление.

В заключение хотелось бы отметить, что для повышения устойчивости хвостов при сейсмическом воздействии применимы те же мероприятия, что и при статических нагрузках это снижение кривой депрессии и пригрузка грунтом. Эти мероприятия даже более эффективны, чем при статике, так как отсутствие влаги и увеличение статических напряжений уменьшают способность грунтов к разжижению или виброползучести.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хвостосховища і шламонакопичувачі. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво: ДБН В.2.4-5:2012. – [Чинні від 2012-09-01]. – К.: Мінрегіон України, 2012. – V, 125 с. - (Будівельні норми України).
2. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2006. – Офіц. вид. – [На заміну СНиП II-7-81*; Чинні від 2007-01-02]. – К.: Укрархбудінформ: Мінбуд України, 2006. – 82 с. - (Будівельні норми України).
3. Плотины из грунтовых материалов: СНиП 2.06.05-84. – [Введен с 1985-07-01]. – М.: Госстрой СССР, 1991. – 49 с.
4. Основания гидротехнических сооружений: СНиП 2.02.02-85. - [Введен с 1987-01-01]. – М.: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1986. – 45 с.
5. П-783-88 (Гидропроект). Рекомендации по проектированию плотин из грунтовых материалов.
6. Определение предельной отметки наращивания ограждающих сооружений хвостохранилища ПАО «ИнГок» в зависимости от механической и фильтрационной прочности грунтов основания. Инженерно-геологические изыскания: научно-технический отчет. - Том 1. – Киев, 2013.
7. Определение предельной отметки наращивания ограждающих сооружений хвостохранилища ПАО «ИнГок» в зависимости от механической и фильтрационной прочности грунтов. Инженерно-геологические изыскания: отчет по геофизическим работам. - В 2-х книгах. – Днепропетровск: ООО «Фундаментстроймакс», 2013.

8. Получение расчетных акселерограмм и спектров реакции для расчета устойчивости ограждающих сооружений хвостохранилища Ингулецкого ГОКа при максимальных расчетных землетрясениях (МРЗ): научно-технический отчет. – Киев-Львов, 2011.

REFERENCES

1. Tailings and sludge collectors. Part I. Design. Part II. Construction: State building codes V.2.4-5:2012. – [Valid from 2012-09-01]. – К.: Minregion of Ukraine, 2012. – V, 125 p. - (Building codes of Ukraine).
2. Construction in seismic regions of Ukraine. State building codes V.1.1-12:2006. – [Valid from 2007-01-02]. – К.: Minbud of Ukraine, 2006. - 82 p. - (Building codes of Ukraine).
3. Earth dam: SNIP 2.06.05-84. – [Valid from 1985-07-01]. – М.: Gosstroj USSR, 1991. – 49 p.
4. Grounds of hydraulic engineering constructions: SNIP 2.02.02-85. – [Valid from 1987-01-01]. – М.: State committee of USSR on building, 1986. – 45 p.
5. P-783-88 (Gidroproekt) Design recommendations of earth material dams.
6. Determination of the limiting building mark of enclosing constructions PAT «InGOK» tailing dam depending on the mechanical and filtering strength of earth base. Geological engineering survey: Scientific and technical report. – Vol. 1. – Kiev, 2013.
7. Determination of the limiting building mark of enclosing constructions PAT «InGOK» tailing dam depending on the mechanical and filtering strength of earth base. Geological engineering survey: geodetic work report. - In 2 books. – Dnipropetrovsk: Fundamentstroymaks, 2013.
8. Obtaining calculated accelerograms and response spectra for calculation stability of enclosing constructions in hulas Mining tailings at the maximum design earthquake (NDE): report on the topic. – Kiev-Lvov, 2011.

Статья поступила в редакцию 25.08.2014 г.